

Rec'd PCT/PTO 25 APR 2005

**PRIORITY DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)



REC'D 26 AUG 2003  
WIPO PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 102 49 754.0

**Anmeldetag:** 25. Oktober 2002

**Anmelder/Inhaber:** Robert Bosch GmbH, Stuttgart/DE

**Bezeichnung:** Verfahren und Vorrichtung zur Messung der  
Einspritzrate eines Einspritzventils für Flüssigkeiten

**IPC:** F 02 M 65/00

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 26. Juni 2003  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

Haiß

17.10.2002 H1/Oy

5

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

10

Verfahren und Vorrichtung zur Messung der Einspritzrate  
eines Einspritzventils für Flüssigkeiten

Stand der Technik

15

20

Bei der Fertigungs- und Funktionsprüfung von Kraftstoff-Einspritzkomponenten, wie beispielsweise von Einspritzventilen, Common-Rail-Injektoren und anderen Hochdruckeinspritzventilen, sind zur Mengenmessung verschiedene Prüfvorrichtungen und -verfahren im Stand der Technik beschrieben. So ist beispielsweise aus der DE 100 64 511 A1 das Messkolbenprinzip bekannt, bei dem das Einspritzventil Kraftstoff in ein mit einem Prüfmedium gefülltes Messvolumen einspritzt. Der Druck in dem Messvolumen wird konstant gehalten, indem ein Messkolben durch die Einspritzmenge verdrängt wird. Aus der Verschiebung des Messkolbens kann dann unmittelbar die Einspritzmenge berechnet werden. Dieses Verfahren ist wegen der mechanischen Kolbenbewegung dynamisch begrenzt und kann dadurch die steigenden Anforderungen nach zeitlich hochaufgelöster Messung der Einspritzrate bei modernen Hochdruck-Einspritzsystemen für Brennkraftmaschinen, die pro Einspritzzyklus häufig mehrere Teileinspritzungen umfassen, nicht erfüllen.

30

35

Ein alternatives und genaues Verfahren, wie es beispielsweise in W. Zeuch: „Neue Verfahren zur Messung des Einspritzge-

setzes und der Einspritz-Regelmäßigkeit von Diesel-Einspritzpumpen", Motortechnische Zeitschrift (MTZ) 22 (1961), S. 344-349, beschrieben ist, ist das hydraulische Druckanstiegsverfahren (HDV). Hierbei spritzt das Einspritzventil ebenfalls in ein flüssigkeitsgefülltes Messvolumen ein, jedoch wird hier das Messvolumen konstant gehalten. Dadurch kommt es zu einem Druckanstieg im Messvolumen, was mit einem geeigneten Drucksensor gemessen wird. Moderne Drucksensoren auf Piezo-Basis zeichnen sich dabei durch eine sehr kurze Ansprechzeit aus, was zeitlich hochaufgelöste Messungen möglich macht. Aus dem zeitlichen Verlauf des Druckanstiegs lässt sich im Prinzip der Verlauf der Einspritzrate und die eingespritzte Menge berechnen.

In der Praxis wird dies jedoch durch eine Reihe von Faktoren erschwert: Im Messvolumen  $V$  kommt es durch den eingespritzten Kraftstoff zu Druckschwingungen in den entsprechenden Eigenfrequenzen des Messvolumens, wobei diese Eigenfrequenzen von den geometrischen Abmessungen des Messvolumens abhängen. Neben der Grundschiwingung werden in der Regel auch viele Oberschwingungen angeregt, wobei in der Regel mehrere Schwingungsmoden möglich sind. Dies erschwert eine Filterung des Drucksensor-Messsignals, da die Frequenzen der Eigenschwingungen zum Teil im Bereich der Frequenzen des Messsignals liegen.

Weiter wird eine genaue Messung des Absolutwerts der Einspritzmenge  $\Delta m$  dadurch erschwert, dass die Messgröße des Drucks erst auf die eingespritzte Flüssigkeitsmenge umgerechnet werden muss. Die Umrechnungsfaktoren beinhalten hierbei den Kompressionsmodul und die Dichte. Diese Größen hängen von den jeweiligen Prüfbedingungen und der Vorgeschichte ab und stehen deshalb nicht mit der notwendigen Genauigkeit aus früheren Messungen zur Verfügung. Um diese Größen zu ermitteln ist für jede Messung ein separater, aufwendiger Kalibriervorgang nötig, was die Messung umständlich

und in der Praxis schwer durchführbar macht. Hierzu wird über einen separaten Kalibrierzylinder ein definiertes Kalibrier-Volumen  $\Delta V_K$  in das Messvolumen  $V$  eingebracht und die Druckänderung  $\Delta p_K$  gemessen. Der Kompressionsmodul  $K$  ergibt sich dann aus der Beziehung

$$K = \Delta p_K / \Delta V_K \cdot V \quad (I)$$

Damit lässt sich jetzt das eingespritzte Volumen  $\Delta V$  berechnen:

$$\Delta V = V / K \cdot \Delta p$$

Um letztendlich die Einspritzmenge zu berechnen ist eine Umrechnung auf die Masse erforderlich, was die Kenntnis der Dichte  $\rho$  notwendig macht:

$$\Delta m = \rho \cdot \Delta V = V \cdot \rho / K \cdot \Delta p$$

Hierbei hängt die Dichte von der Temperatur des Prüfmediums ab. Um dies zu berücksichtigen wird die Temperatur mittels eines Temperatursensors im Messvolumen gemessen und die Dichte entsprechend korrigiert. Die Temperaturmessung ist dabei punktuell und berücksichtigt nicht eine eventuell ungleiche Temperatur im gesamten Messvolumen.

Für die Ermittlung des Kompressionsmoduls  $K$  nach der angegebenen Gleichung (I) ist die Einbringung eines definierten Kalibrier-Volumens in das Messvolumen notwendig, was einen separaten Volumengeber nötig macht. Darüber hinaus ergibt sich der Nachteil, dass für die Kalibriermessung eine separate Messzeit notwendig ist, was die mögliche Frequenz von aufeinanderfolgenden Messungen reduziert.

## Vorteile der Erfindung

Das erfindungsgemäße Verfahren mit den Merkmalen des Patent-  
anspruchs 1 weist demgegenüber den Vorteil auf, dass sich  
5 aus dem Druckverlauf in einfacher Weise die Einspritzmenge  
bestimmen lässt. Hierzu wird der zeitliche Verlauf des  
Drucks im Messvolumen bei der Einspritzung aufgezeichnet und  
daraus der zeitliche Verlauf der Einspritzmenge berechnet.  
Um den Faktor zur Berechnung des Absolutwerts der Einspritz-  
10 menge zu ermitteln, wird die Schallgeschwindigkeit bestimmt.  
Aus dem Druckanstieg und der Schallgeschwindigkeit lässt  
sich dann direkt die Einspritzmenge bzw. deren zeitlicher  
Verlauf, also die Mengen-Einspritzrate, berechnen.

15 In einer vorteilhaften Weiterbildung des Verfahrens wird die  
Schallgeschwindigkeit mittels eines separaten Messvorgangs  
ermittelt, bei dem ein Schallimpuls von einem Schallgeber in  
das Messvolumen abgegeben wird und durch den Drucksensor  
aufgefangen wird. Sind der Schallgeber und der Drucksensor  
20 einander gegenüber angeordnet, so lässt sich aus dem Abstand  
und der Laufzeit direkt die Schallgeschwindigkeit berechnen.  
Dies ist ein sehr schnelles Messverfahren, das kaum nennens-  
werte Verzögerungen des Messablaufs bewirkt.

In einer weiteren vorteilhaften Weiterbildung des Verfahrens  
werden die Messdaten des Druckverlaufs mit Hilfe eines e-  
lektronischen Rechners gespeichert, der auch eine direkte  
Weiterbearbeitung der Daten möglich macht.

30 In einer weiteren vorteilhaften Weiterbildung des Messver-  
fahrens wird aus den Druckmesswerten die Frequenz einer  
Druckeigenschwingung des Messvolumens bestimmt. Aus der Ei-  
genfrequenz ergibt sich dann die Schallgeschwindigkeit als  
gemittelte Größe über das gesamten Messvolumen, ohne dass  
35 eine separate Messung mit entsprechenden Vorrichtungen nötig  
wäre. Beispielhaft ist es hierbei möglich, die Frequenzana-

lyse mit Hilfe eines Fourier-Verfahrens zu berechnen, wobei auch andere, moderne Verfahren möglich sind.

5 Die Filterung der Druckmesswerte wird beispielsweise mit einem Tiefpass durchgeführt, so dass Störungen und Rauschen weitgehend eliminiert werden. Aus der zeitlichen Differentiation des Drucksignals lässt sich dann die Einspritzmengenrate bestimmen.

10 Die erfindungsgemäße Vorrichtung mit den Merkmalen des Patentanspruchs 10 weist gegenüber dem Stand der Technik den Vorteil auf, dass das Messsignal besser gefiltert werden kann. Hierzu ist der Drucksensor im Druckknoten der ersten Druckeigenschwingung, also der Grundeigenschwingung, angeordnet, so dass der Drucksensor kein Signal der Grundeigenschwingung erfasst. Deshalb kann die Grenzfrequenz des Tiefpassfilters zur Glättung der Druckmesswerte um einen Faktor  
15 zwei nach oben verschoben werden.

20 Zeichnung

In der Zeichnung ist ein Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung dargestellt. Es zeigt

- Figur 1 die Messvorrichtung mit den schematisch dargestellten Komponenten,  
Figur 2 eine Darstellung des Messvolumens mit dem Druckverlauf der ersten Druckeigenschwingung und  
Figur 3 das Diagramm einer Messung, wobei der Druck und dessen Ableitung über der Zeit abgetragen sind.

30 Beschreibung des Ausführungsbeispiels

In der Figur 1 ist die Messvorrichtung in einer teilweise geschnittenen Darstellung gezeigt. Ein zylinderförmiges  
35 Messvolumen 1 mit einer Wandung 2 ist mit einer Prüfliquidität vollständig gefüllt, wobei das Messvolumen 1 allseitig

abgeschlossen ist. Die Wandung 2 weist eine erste Grundfläche 102 und eine zweite Grundfläche 202 auf, die durch die Seitenwand 303 verbunden sind, welche eine Längsachse 4 aufweist. Durch eine Öffnung 10 in der ersten Grundfläche 102 der Wandung 2 ragt ein Einspritzventil 3 mit seiner Spitze in das Messvolumen 1, wobei der Durchtritt des Einspritzventils 3 durch die Wandung 2 flüssigkeitsdicht verschlossen ist. Das Einspritzventil 3 weist einen Ventilkörper 7 auf, in dem in einer Bohrung 6 eine kolbenförmige Ventilnadel 5 längsverschiebbar angeordnet ist. Durch eine Längsbewegung der Ventilnadel 5 werden mehrere Einspritzöffnungen 12, die an der in das Messvolumen 1 hineinragenden Spitze des Einspritzventils 3 ausgebildet sind, geöffnet oder geschlossen. Bei geöffneten Einspritzöffnungen 12 strömt Prüf Flüssigkeit aus einem zwischen der Ventilnadel 5 und der Wand der Bohrung 6 ausgebildeten Druckraum 9 zu den Einspritzöffnungen 12 und wird von dort in das Messvolumen 1 eingespritzt, bis die Einspritzöffnungen 12 durch die Ventilnadel 5 wieder verschlossen werden. Die Einspritzung der Prüf Flüssigkeit erfolgt hierbei mit einem hohen Druck, der je nach verwendetem Einspritzventil bis zu 200 MPa betragen kann.

In die Seitenwand 303 der zylinderförmigen Wandung 2 mündet eine mit einem Druckhalteventil 17 verbundene Leitung 16, durch die Prüf Flüssigkeit aus dem Messvolumen 1 in ein in der Zeichnung nicht dargestelltes Leckvolumen abgeleitet werden kann. In der Leitung 16 ist darüber hinaus ein Steuerventil 15 angeordnet, durch das im Bedarfsfall die Leitung 16 verschlossen werden kann, falls eine Ableitung von Prüf Flüssigkeit aus dem Messvolumen 1 nicht gewünscht wird. Durch das Druckhalteventil 17 ist sichergestellt, dass ein gewisser Druck im Messvolumen 1 aufrecht erhalten wird und dieses stets völlig mit Flüssigkeit gefüllt bleibt.

Eine Halterung 22 ragt durch die zweite Grundfläche 202 der Wandung 2 in das Messvolumen 1 hinein. Am Ende der Halterung

22 ist ein Drucksensor 20 angeordnet, der über eine Signal-  
leitung 24, die in der Halterung 22 aus dem Messvolumen 1  
hinausführt, mit einem elektronischen Rechner 28 verbunden  
ist, wobei der Durchtritt der Halterung 22 durch die Wandung  
5 2 flüssigkeitsdicht verschlossen ist. Der Drucksensor 20 ist  
in der Mittelebene zwischen den beiden Grundflächen 102, 202  
der Wandung 2 angeordnet und hat somit zu beiden Grundflä-  
chen 102, 202 denselben Abstand. Da der Drucksensor 20 auch  
auf der Längsachse 4 liegt, weist er zur Seitenfläche 303  
10 einen allseitig gleichen Abstand s auf. Über den elektroni-  
schen Rechner 28 kann das Signal, das der Drucksensor 20  
liefert, ausgelesen und elektronisch gespeichert werden. Um  
eine schnelle Messung des Druckverlaufs zu ermöglichen ist  
der Drucksensor 20 beispielsweise auf Piezo-Basis gebaut, so  
15 dass auch schnelle Änderungen des Drucks ohne nennenswerte  
Verzögerung gemessen werden können. An der Seitenfläche 303  
der Wandung 2 ist ein Schallgeber 21 angeordnet, der vom  
Drucksensor 20 den Abstand s aufweist. Alternativ kann es  
auch vorgesehen sein, dass ein separater Schallempfänger 30  
20 diametral dem Schallgeber 21 an der Seitenfläche 303 gegenü-  
berliegt, um eine möglichst große Laufstrecke des Schallsig-  
nals zu erhalten und damit eine größere Genauigkeit bei der  
Bestimmung der Schallgeschwindigkeit c.

Die zu messende Einspritzmenge  $\Delta m$  der Prüfflüssigkeit kann  
aus dem Drückanstieg und der Schallgeschwindigkeit berechnet  
werden. Ist  $\rho$  die Dichte der Prüfflüssigkeit und V das Volu-  
men des Messvolumens, so ergibt sich durch das Einspritzen  
des Einspritzventils bei konstantem Volumen V eine Änderung  
30 der Dichte  $\Delta \rho$ , so dass gilt

$$\Delta m = V \cdot \Delta \rho$$

Nach der bekannten akustischen Theorie ist der Zusammenhang  
35 zwischen der Schallgeschwindigkeit c, der Dichteänderung  $\Delta \rho$   
und dem Drückanstieg  $\Delta p$  wie folgt



$$\Delta p = \Delta p \cdot 1/c^2$$

und damit gilt

5

$$\Delta m = V \cdot 1/c^2 \cdot \Delta p = V \cdot \rho/K \cdot \Delta p \quad (\text{II})$$

Es gibt also einen direkten Zusammenhang zwischen dem Druckanstieg  $\Delta p$  und der Mengenänderung  $\Delta m$ .

10

Mit dem Drucksensor 20 wird der zeitliche Verlauf des Drucks gemessen, woraus sich wiederum die Einspritzrate  $r(t)$  bestimmen lässt, also die pro Zeiteinheit  $dt$  eingespritzte Menge  $dm(t)$  der Prüf Flüssigkeit. Aus dem obigen Zusammenhang ergibt sich damit für die Einspritzrate  $r(t)$ , also die zeitliche Ableitung der eingespritzten Menge  $dm(t)/dt$ , folgende Gleichung:

15

$$r(t) = dm(t)/dt = V/c^2 \cdot dp(t)/dt \quad (\text{III})$$

20

Das heißt, dass bei Kenntnis der Schallgeschwindigkeit  $c$  und des Volumens  $V$  aus dem zeitlichen Verlauf des Drucks  $p(t)$  der Absolutwert der Einspritzrate  $r(t)$  berechnet werden kann.

30

Beim Einspritzen der Prüf Flüssigkeit in das Messvolumen 1, das anfänglich einen konstanten Druck aufweist, der beispielsweise 1 MPa entspricht, steigt der Druck im Messvolumen 1 an. Flüssigkeiten sind im Vergleich zu Gasen praktisch inkompressibel, so dass auch eine kleine Mengenzunahme zu einer gut messbaren Druckerhöhung führt. Durch das stoßartige Einbringen der Prüf Flüssigkeit werden im Messvolumen 1 Druckeigenschwingungen angeregt. Die Eigenfrequenzen hängen von den geometrischen Abmessungen des Messvolumens 1 ab: Für die erste Druckeigenschwingung, die sogenannte Grundschiwingung, bei der eine Longitudinalwelle entlang der Längsachse

35

4 schwingt, ist die halbe Wellenlänge  $\lambda/2$  gleich der Länge  $L$  des Messvolumens 1, also gilt

$$\lambda = \lambda_e = 2 \cdot L.$$

5

Figur 2 zeigt diese erste Druckeigenschwingung schematisch, wobei die mit  $p$  bezeichneten Linien den Druckverlauf zeigen, bei dem an den Rändern Druckbäuche zu finden sind und in der Mitte, also in der Radialebene des zylinderförmigen Messvolumens, in der der Drucksensor 20 angeordnet ist, ein Druckknoten liegt. Die Frequenz  $v_e$  der ersten Druckeigenschwingung errechnet sich dann einfach aus der Schallgeschwindigkeit  $c$  nach der Beziehung  $\lambda_e \cdot v_e = c$  zu

10

15

$$v_e = c/\lambda_e = c/(2 \cdot L)$$

Für die Frequenz  $v_n$  der  $n$ . Oberschwingung gilt entsprechend, dass die Länge des Messvolumens  $L$  ein Vielfaches von  $\lambda/2$  sein muss:

20

$$v_n = (n \cdot c)/(2 \cdot L)$$

Der Drucksensor 20 registriert die erste Druckeigenschwingung nicht, da am Druckknoten keine Druckänderungen auftreten. Ebenso wenig werden die 2., 4. und alle anderen geradzahligen Oberschwingungen vom Drucksensor 20 aufgenommen.

30

Zur Auswertung der Messung geht man folgendermaßen vor: In das Messvolumen 1, in dem sich die Prüfflüssigkeit befindet, spritzt das Einspritzventil 3 durch eine schnelle Längsbewegung der Ventalnadel 5, durch welche die Einspritzöffnungen 12 geöffnet und wieder verschlossen werden, eine bestimmte Flüssigkeitsmenge ein. Der Drucksensor 20 misst den Druck  $p(t)$ , der mit einer bestimmten Rate von beispielsweise 100 kHz vom Rechner 28 ausgelesen und gespeichert wird.

35

Um den zeitlichen Verlauf der Einspritzmenge  $dm(t)/dt$ , also die Einspritzrate  $r(t)$  zu bestimmen, benutzt man Gleichung (III). Die im Rechner gespeicherten Messwerte  $p(t)$  werden zeitlich differenziert und mit dem Faktor  $V/c^2$  multipliziert, was direkt die Einspritzrate  $r(t)$  ergibt.

Neben der Bestimmung der Schallgeschwindigkeit durch eine separate Messung ist es auch möglich, diese aus den gemessenen Druckmesswerten direkt zu bestimmen. Die im Rechner 28 aufgezeichneten Druckmesswerte sind zum einen verrauscht und zum anderen sind Druckeigenschwingungen des Messvolumens 1 überlagert, was zu weiteren Verfälschungen führt. Aus einer Frequenzanalyse kann aus den Druckmesswerten die Frequenzen der ersten Oberschwingung der Druckeigenschwingungen bestimmt werden, woraus nach der oben angegebenen Beziehung  $c = v \cdot L$  die Schallgeschwindigkeit  $c$  berechnet wird, die in der verwendeten Prüfflüssigkeit bei den vorliegenden Bedingungen herrscht. Obwohl die ungefähre Größe von  $c$  natürlich bekannt ist, kommt es doch zu Schwankungen durch veränderte Zusammensetzungen der Prüfflüssigkeit oder geänderte Temperaturen, was andernfalls zu einer Verminderung der Messgenauigkeit führen würde. Durch eine Filterung der Druckmesswerte durch einen Tiefpass kann hochfrequentes Rauschen unterdrückt werden. Wegen der Anordnung des Drucksensors 20 in der Mitte des Messvolumens kann die Grenzfrequenz  $v_G$  für den Tiefpass doppelt so groß gewählt werden, da die erste Grundschwingung vom Drucksensor 20 nicht registriert wird. Die geglätteten Druckmesswerte werden anschließend zeitlich differenziert, und nach Multiplikation mit dem Faktor  $V/c^2$  ergibt sich bei bekanntem Volumen  $V$  die Einspritzrate  $r(t)$ .

Die Schallgeschwindigkeit  $c$  kann auch in einem separaten Verfahren bestimmt werden. Hierzu wird vom Schallgeber 21 ein Schallimpuls ausgesandt, der von dem als Schallempfänger dienenden Drucksensor 20 oder von einem separaten Schallempfänger 30 nach einer Laufzeit  $t_L$  aufgefangen wird. Aus dem

Abstand  $s$  von Schallgeber 21 und Drucksensor 20 berechnet sich dann nach

$$c = s / t_L$$

5

die Schallgeschwindigkeit  $c$ . Nach der oben gezeigten Gleichung (II) ergibt sich dadurch sofort die eingespritzte Menge  $\Delta m$ .

10

Figur 3 zeigt den zeitlichen Verlauf von Druck  $p(t)$  und dessen Ableitung  $dp(t)/dt$  als Funktion der Zeit  $t$  in willkürlichen Einheiten  $U$ . Der Druck  $p(t)$  steigt etwa zum Zeitpunkt  $t = 1$  ms auf ein erstes Niveau an und etwa zum Zeitpunkt  $t = 2$  ms auf ein zweites, deutlich höheres Niveau. Dies entspricht einer Einspritzung von zuerst einer kleineren Menge Prüf­flüssigkeit und in einem Abstand von etwa 1 ms einer größeren Menge. Wird ein Einspritzventil gemessen, wie es für direkteinspritzende, selbstzündende Brennkraftmaschinen verwendet wird, entspricht dies einer Kraftstoffeinspritzung, die sich in eine Pilot- oder Voreinspritzung und eine nachfolgende Haupteinspritzung gliedert. Nachdem das vom Drucksensor 20 gemessene Drucksignal  $p(t)$  nach der oben geschilderten Methode geglättet worden ist, ergibt die Ableitung  $dp(t)/dt$  einen Wert, der proportional zur Einspritzrate  $r(t)$  ist. Durch Multiplikation mit dem Faktor  $V/c^2$  erhält man daraus schließlich den Absolutwert der Einspritzrate  $r(t)$ .

15

20

30

35

Das Messverfahren zusammen mit dem beschriebenen Messaufbau ermöglicht es also, den Druckverlauf zu messen und die Schallgeschwindigkeit  $c$  bei den aktuellen Prüfbedingungen zu bestimmen, woraus sich die Einspritzmenge und die Einspritzrate bestimmen lässt. Wird die Schallgeschwindigkeit  $c$  aus der Frequenz der Eigenschwingungen berechnet, so können sämtliche notwendigen Größen aus dem Druckverlauf bestimmt werden, was Fehler durch zusätzliche Bauteile ausschließt.

Durch die Anordnung des Drucksensors 20 genau zwischen den beiden Grundflächen 102, 202 kann die Grenzfrequenz  $v_G$  des Tiefpassfilters auf die doppelte Frequenz der Grundschnwingung  $v_e$  angehoben werden, ohne dass eine qualitative Beeinträchtigung durch das Filtern zu erwarten ist. Aufwendige Kalibrierverfahren, bei denen in einem separaten Messverfahren die Schallgeschwindigkeit bestimmt wird, können somit entfallen.

10 Die Prüfflüssigkeit kann Kraftstoff sein oder eine andere Flüssigkeit, deren Eigenschaften dem Stoff nahekommen, der im normalen Gebrauch des Einspritzventils verwendet wird. Das Messvolumen 1 muss nicht zylinderförmig ausgebildet sein, sondern statt eines Zylinders kann auch ein quaderförmiges Messvolumen 1 oder eine andere geeignete Form vorgesehen sein, beispielsweise eine Kugel. Der Drucksensor 20 wird auch hier in einem Druckknoten der ersten Druckeigenschwingung des Messvolumens 1 angeordnet, um die Grenzfrequenz für die Filterung möglichst hoch ansetzen zu können.

17.10.2002 H1/Oy

5 ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

Ansprüche

10

1. Verfahren zur Messung der Einspritzrate eines Einspritzventils für Flüssigkeiten, vorzugsweise für flüssigen Kraftstoff, bei dem das Einspritzventil (3) die Flüssigkeit in ein flüssigkeitsgefülltes Messvolumen (1) einspritzt, wobei das Messvolumen (1) allseitig abgeschlossen ist und im Messvolumen (1) ein Drucksensor (20) angeordnet ist, gekennzeichnet durch folgende Verfahrensschritte:

15

20

- Einspritzung von Flüssigkeit durch das Einspritzventil (3) in das Messvolumen (1),
- Messung des Drucks ( $p(t)$ ) im Messvolumen (1) mittels des Drucksensors (20) während der Einspritzung und Aufzeichnung dieser Messwerte,
- Bestimmung der Schallgeschwindigkeit ( $c$ ) im Messvolumen (1),
- Bestimmung der eingespritzten Prüfflüssigkeits-Menge ( $m(t)$ ;  $\Delta m$ ) aus den Druckmesswerten ( $p(t)$ ) und der Schallgeschwindigkeit ( $c$ ).

30

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Druckmesswerte ( $p(t)$ ) während der Einspritzung von einem elektronischen Rechner (28) aufgezeichnet werden.

35

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Schallgeschwindigkeit ( $c$ ) mittels eines separaten Messverfahrens bestimmt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Schallgeschwindigkeit aus der Laufzeit eines von einem Schallgeber (21) zu einem Schallempfänger (20; 30) laufenden Schallsignals berechnet wird.

5 5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Schallgeschwindigkeit ( $c$ ) aus den Eigenfrequenzen ( $v_n$ ) des Messvolumens (1) bestimmt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Eigenfrequenzen ( $v_n$ ) durch eine Frequenzanalyse der Druckmesswerte ( $p(t)$ ) bestimmt werden.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Druckmesswerte ( $p(t)$ ) mit einem Tiefpassfilter gefiltert werden.

15 8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass aus dem Verlauf der Druckmesswerte ( $p(t)$ ) durch zeitliche Differentiation eine der Einspritzrate ( $r(t)$ ) proportionale Größe berechnet wird.

25 9. Vorrichtung zur Messung der Einspritzrate ( $r(t)$ ) eines Einspritzventils (3) für Flüssigkeiten mit einem Messvolumen (1), das allseitig abgeschlossen ist und mit einer Prüfflüssigkeit gefüllt ist, einer Öffnung (10) in der Wandung (2) des Messvolumens (1) zur Aufnahme eines Einspritzventils (3), so dass das Einspritzventil (3) in Einbaulage mit wenigstens einer Einspritzöffnung (12) in das Messvolumen (1) hineinragt, und einem Drucksensor (20), der im Messvolumen (1) angeordnet ist, dadurch gekennzeichnet, dass der Drucksensor (20) im Druckknoten der ersten Druckeigenschwingung des Messvolumens (1) angeordnet ist.

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet,  
dass das Messvolumen (1) zylinderförmig ausgebildet ist.

11. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet,  
dass der Drucksensor (20) in der Radialebene angeordnet  
ist, die mittig zwischen den beiden Grundflächen (102;  
202) des Zylinders liegt.

12. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet,  
dass ein elektronischer Rechner (28) die Messwerte des  
Drucksensors (20) erfasst und speichert.

13. Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet,  
dass auf dem elektronischen Rechner (28) ein Programm  
läuft, das aus den aufgezeichneten Druckmesswerten  
( $p(t)$ ) die Eigenfrequenzen des Messvolumens (V) berech-  
net.

14. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet,  
dass im Messvolumen (V) ein Schallgeber (21) und ein se-  
parater Schallempfänger (30) angeordnet sind.



17.10.2002 H1/Oy

5 ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

Verfahren und Vorrichtung zur Messung der Einspritzrate  
eines Einspritzventils für Flüssigkeiten

10

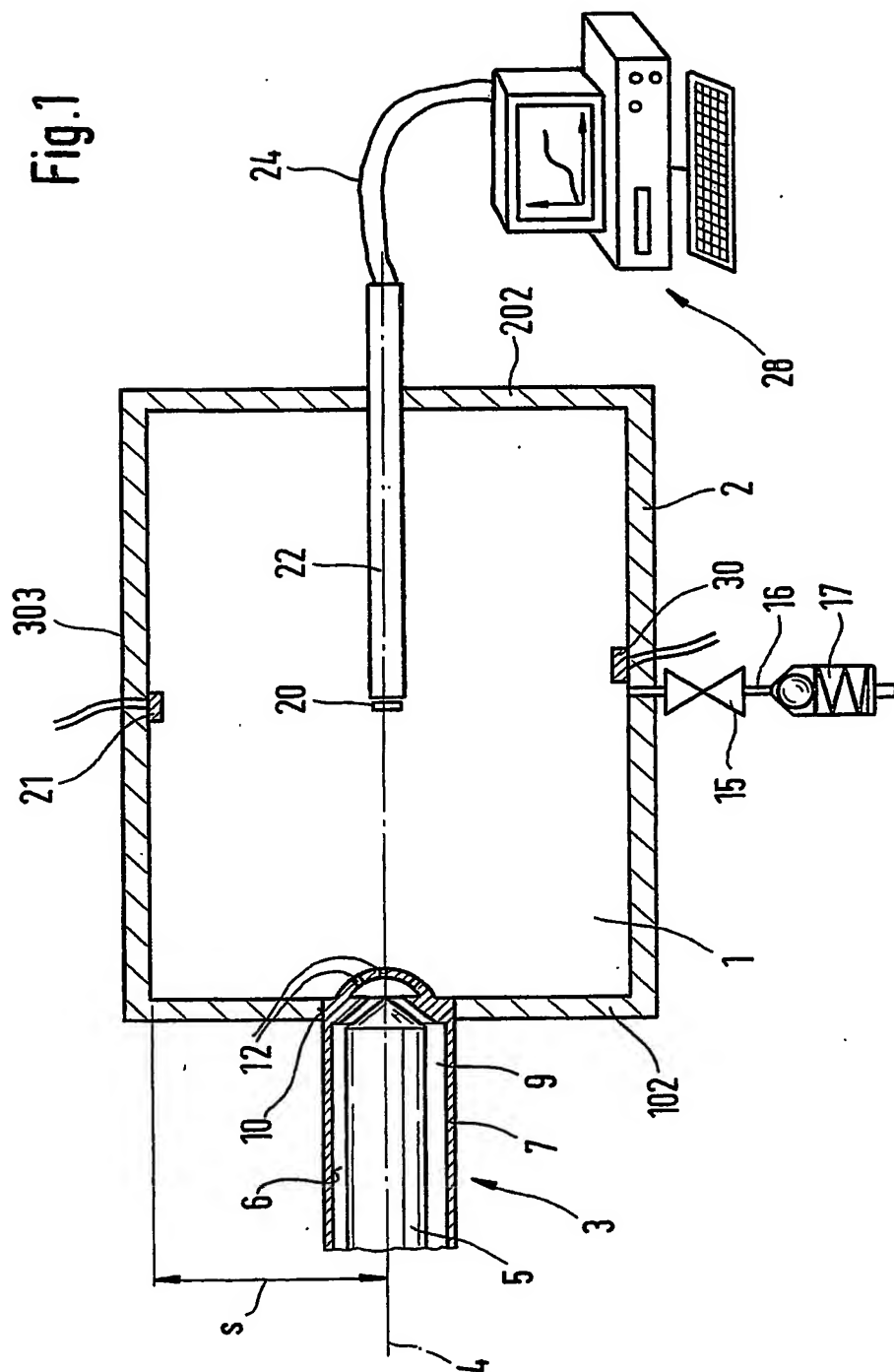
Zusammenfassung

15

20

Verfahren zur Messung der Einspritzrate eines Einspritzventils für Flüssigkeiten, vorzugsweise für flüssigen Kraftstoff, bei dem das Einspritzventil (3) die Flüssigkeit in ein flüssigkeitsgefülltes Messvolumen (1) einspritzt, wobei das Messvolumen (1) allseitig abgeschlossen ist und im Messvolumen ein Drucksensor (20) angeordnet ist. Aus den Druckmesswerten  $p(t)$  oder durch eine separate Messung wird die Schallgeschwindigkeit bestimmt und damit die Einspritzmenge ( $\Delta m$ ) oder der zeitliche Verlauf der Einspritzrate  $r(t)$  berechnet. Die Vorrichtung umfasst ein Messvolumen (1), ein Einspritzventil (3), das mit wenigstens einer Einspritzöffnung (12) in das Messvolumen (1) ragt, und einen Drucksensor (20), der im Druckknoten der ersten Druckeigenschwingung des Messvolumens (1) angeordnet ist (Fig. 1).

Fig. 1



2/2

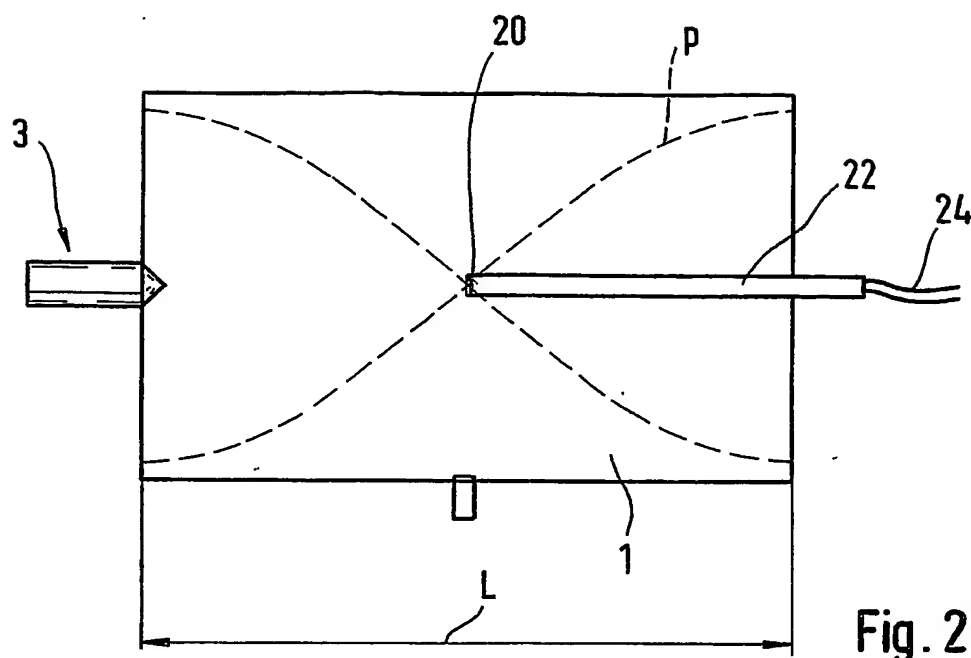


Fig. 2

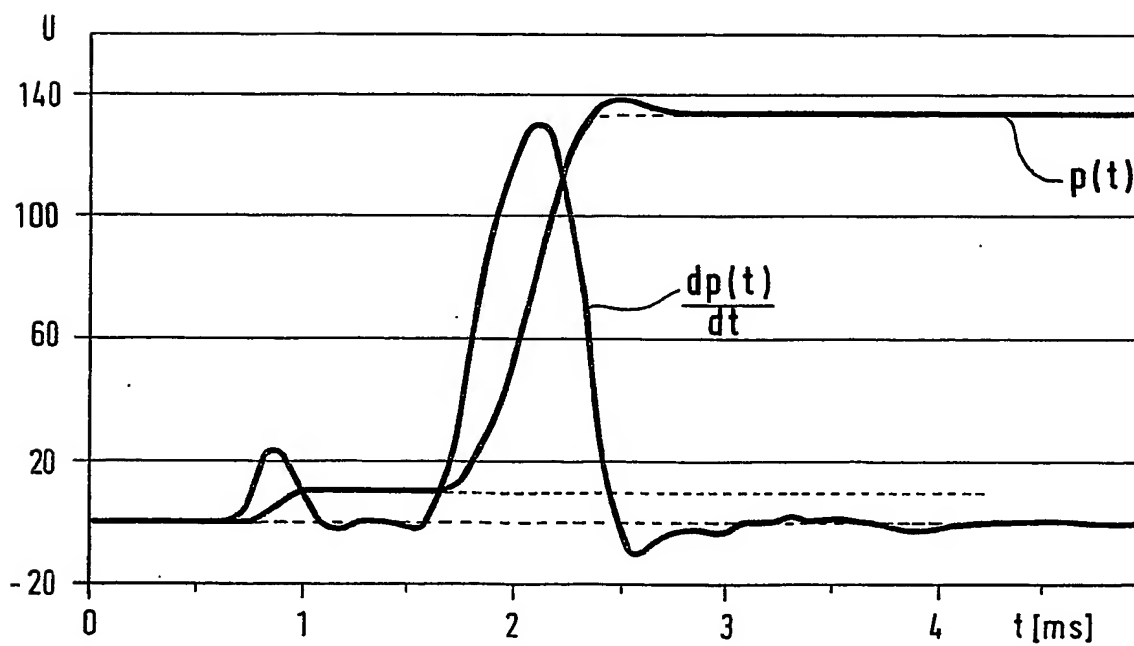


Fig. 3